

Учитывая обширный ассортимент техногенного сырья, имеющегося на текущий момент, при выборе отходов, перспективных как функциональные добавки, целесообразно уделить внимание дисперсным материалам с умеренным содержанием оксидов железа и алюминия. Особый интерес представляют из них те, которые содержат углерод, способный частично или полностью заменить кокс в шихте. Существенный резерв в повышении прочности ЗАГ посредством ввода техногенных добавок должна обеспечить оптимизация их количества и фазового состава применительно к конкретной зольной основе гравия.

#### Библиографический список

1. Элинзон М.П., Васильков С.Г. Топливосодержащие отходы промышленности в производстве строительных материалов. – М: Стройиздат, 1980.
2. Уфимцев В.М. Зольный аглопоритовый гравий: развитие технологии производства и перспективы развития. // Технологии бетонов, 2008, №10, с.66-67.
3. Иванов И.А. Легкие бетоны с применением зол электростанций. – М: Стройиздат, 1986.-136с.
4. Волженский А.В., Иванов И.А., Виноградов Б.Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. – М: Стройиздат, 1984.-255с.
5. ГОСТ 9758-93 Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытания,

## МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

В.М. УФИМЦЕВ, студ. В.В. ТУРЫГИН

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Шлаки черной металлургии традиционно используются в производстве цемента как активная минеральная добавка к цементу. Мокрый способ производства цемента, доминировавший ранее, исключал их использование в составе сырья, поскольку шлаки при увлажнении схватываются и твердеют. На текущий момент в связи с тотальным переходом производства цемента на сухой способ появляется возможность расширить потребление шлака за счет его применения в качестве сырья. В этом случае энергозатраты на производство цемента должны значительно уменьшиться, особенно в случае использовании шлаков с повышенным содержанием извести.

Исследовали возможность использования рассыпавшихся шлаков (РШ) черной металлургии в качестве комплексного компонента в составе цементной сырьевой смеси и доменного гранулированного шлака как активной добавки к клинкеру, полученному на основе РШ. Известно, что РШ не отличаются повышенной гидравлической активностью, поскольку в нем преобладает наименее активная гамма-модификация белита. С другой стороны, отпадает необходимость в энергозатратах, связанных с измельчением шлака, что благоприятствует использованию его как сырьевого компонента. Изучали возможность и эффективность применения РШ в составе цементной сырьевой смеси. Очевидно, что наибольший интерес представляет сочетание РШ с аналогичными по дисперсности сырьевыми компонентами – мелом и пиритными огарками. Такое совмещение позволяет исключить первичное измельчение сырья и этим существенно упростить и удешевить передел по его подготовке. В дополнение к этому использование шлака как комплексного, алюмо-известнякового, компонента, замещающего в сырьевой смеси глину и часть мела, обеспечит заметное снижение теплотрат на обжиг клинкера.

Таблица 1

Химический состав минерального сырья

Наименование материала	$r_{008}$ , %	Содержание в %						
		$\Delta m_{црк}$	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
Известняк	12,8	43,2	0,5	0,1	0,2	65,5	0,5	-
Глина	2,8	9,2	54,1	22,3	7,8	1,4	2,4	-
Песок	8,2	-	94,7	1,5	0,2	1,1	0,5	-
Огарки	5,4	5,3	23,2	4,6	54,4	2,7	1,4	-
Мел	10,1	42,7	1,6	0,7	0,2	54,2	0,5	-
Шлак рассыпавшийся	-	-	35,9	7,9	0,8	48,2	4,7	2,5
Топливная зола	-	-	51,2	28,6	7,7	7,5	1,9	3,3

$r_{008}$  – остаток на сите 008.

Для получения клинкера использовали агломерационный обжиг в слое топливосодержащих гранул. Указанный способ обжига практиковался в середине минувшего XX-го столетия и оказался наиболее эффективным на сырье, включающем техногенные компоненты [1]. Для сравнения параллельно осуществляли агломерационный обжиг клинкера на традиционном сырье. В табл. 1 приведен химический состав использованного минерального сырья.

В качестве шихтового топлива использовали смесь, содержащую 60 % антрацита и 40 % кокса, зольностью 20 % с содержанием летучих 4,2 %. Техногенная сырьевая смесь (мел, шлак, огарки) и ее аналог на природных компонентах (известняк, глина, песок) имели коэффициент насыщения  $KH = 0,92$ , силикатный и глиноземистый модули  $n = 3,1$  и  $p = 2,5$ . В дополнение осуществляли обжиг двухкомпонентной смеси, состоящей из мела и шлака с  $KH = 0,92$ ,  $n = 3,8$  и  $p = 8,5$ .

Компоненты смесей тщательно перемешивались и гранулировались – на лабораторном грануляторе с тарелью диаметром 60 см и высотой борта 15 см. Скорость вращения тарели – 22 мин<sup>-1</sup>. Обжиг гранулированной шихты осуществляли в лабораторной спекательной установке при скорости просасывания воздуха 0,4 нм/сек [2]. Процесс обжига включал зажигание шихты и собственно обжиг. На стадии зажигания поверхностный горизонт шихты подвергался нагреву посредством газовой горелки в течение 3-4 минут. При этом твердое топливо в шихте воспламенялось. Далее обжиг протекал в автономном режиме: за счет разрежения, создаваемого под слоем шихты дымососом, зона горения постепенно смещалась по шихтовому слою вниз. Воздух, поступаая в слой, охлаждал верхние горизонты, затем участвовал в горении топлива, а образовавшиеся при этом газы, нагревали и воспламеняли нижележащий горизонт шихты. Такой режим характеризуется «завершенным теплообменом», т.к. температура отходящих газов не превышает 70°C. При завершении обжига, когда фронт горения достигал нижнего горизонта слоя, температура резко повышалась до максимума. Поскольку на этой стадии процесса обжига газы примерно на 80 % разбавлены воздухом, то целесообразно использовать их как вторичный воздух при зажигании шихты. Исходя из этого, в опытах фиксировали теплотери с отходящими газами, как перспективный для снижения удельного расхода тепла энергоресурс. В табл. 2 приведены данные по составам шихт, их характеристикам и результатам обжига.

Таблица 2

Свойства шихт и параметры их обжига

Состав сырьевой смеси, %	Насып. плотн. шихты, кг/дм <sup>3</sup>	СаО <sub>св</sub> , %	Q <sub>зж</sub> , КДж/кг клинк.	Q <sub>общ</sub> , КДж/кг клинк.	Q <sub>отх.г</sub>	Q <sub>общ</sub> /Q <sub>отх.г</sub>	R <sub>сж</sub> , МПа
Известняк, глина, песок, огарки	1080	1,7	4460	8760	2320	3,78	390
Известняк, глина, песок, огарки	1100	2,4	4780	8260	2580	3,92	420
Известняк, глина, песок, огарки	1090	4,1	5100	8150	1910	4,26	380
Известняк, глина, песок, огарки	1050	5,2	5420	8250	2160	3,82	360
Мел, рассыпавшийся шлак, огарки	1170	1,7	3900	7550	1970	3,83	340
Мел, рассыпавшийся шлак, огарки	1220	2,3	3670	7400	1890	3,91	340
Мел, рассыпавшийся шлак, огарки	1230	-	3670	7120	1910	3,72	370
Мел, рассыпавшийся шлак	1100	-	3010	6240	1680	3,71	430
Мел, рассыпавшийся шлак	1150	2,7	3130	6420	1670	3,66	390
Мел, рассыпавшийся шлак	1140	2,4	2410	6120	1660	3,69	360
Мел, рассыпавшийся шлак	1160	1,6	4060	6450	1880	3,43	160
Сырьевая смесь цемзавода*	1060	2,2	3350	7850	2010	3,91	340
Мел, 60 %, молотый граншлак 40 %	1080	2,2	15,2	6770	1550	4,33	330

\* – в опыте использовали сырьевую муку Криворожского цементного завода. СаО<sub>св</sub> – содержание несвязанной извести в клинкере. Q – удельный расход тепла (общий, на зажигание, на потери тепла с отходящими газами). R<sub>сж</sub> – прочность на сжатие по ГОСТ 310.

В составе с молотым граншлаком использовали высокоосновный доменный гранулированный шлак, близкий по составу РШ. На основе опытных клинкеров получали цементы, содержащие дополнительно 5 % гипса и 20 % доменного гранулированного шлака, которые испытывали по ГОСТ 310.

Из результатов, представленных в таблице, следует, что насыпная плотность шихт на техногенном сырье выше, чем на природном. Использование техногенного сырья снижает содержание несвязанной извести. Еще один фактор, уменьшающий ее количество, заключается в снижении модульных характеристик клинкеров в сравнении с исходными двухкомпонентными сырьевыми смесями по причине разбавления их золой твердого топлива.

Активность клинкеров на техногенном сырье варьируется в широком диапазоне. При этом возможно получить клинкер с активностью более 40 МПа, что подтверждает принципиальную возможность получения на сырье, содержащем РШ, нормального клинкера. Еще один принципиально важный результат состоит в возможности сократить количество сырьевых компонентов до минимума – шлакового и карбонатного в виде мела или известняка.

Использование техногенных сырьевых композиций позволяет снизить теплопотребления на обжиг клинкера на 15-20 %. При использовании агломерационного обжига дополнительную экономию 10-15 % может обеспечить использование для зажигания шихты вторичного воздуха. В его качестве рекомендуется применять отходящие газы с хвостовой части агломашины, которые следует перенаправлять их в зажигательный горн.

Таким образом, применяя агломерационный обжиг клинкера, на основе рассыпающегося шлака, и мела, реально организовать энергосберегающее производство цемента. Следует добавить, что тенденция к увеличению дисперсности клинкерных цементов и использование в их составе микрокремнезема или его аналогов должны благоприятствовать беспрепятственному использованию клинкеров агломерационного обжига, имеющих, в сравнении с традиционным клинкером, повышенное содержание несвязанного оксида кальция.

#### Библиографический список

1. Вальберг Г.С. Получение цементного клинкера на агломерационной решетке. М: Промстройиздат, 1957.С.84.
2. Уфимцев В.М. Газовый горн к спекательной установке. Труды Уральского политехнического института. Комбинированный способ производства портландцементного клинкера. Сборник № 174. Свердловск. Изд-во УПИ, с.89-94.
3. Уфимцев В.М., Капустин Ф.Л., Пьячев В.А. Проблемы использования техногенного сырья в производстве цемента.//Цемент и его применение.2009 №6. С.86-90.

## ВЛИЯНИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПРОНИКАЮЩЕЙ КАПИЛЛЯРНОЙ СМЕСИ «ПЕНЕТРОН» НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

*Ф.Л. Капустин, А.М. Спиридонова, Д.В. Балакин, асп. Е.П. Помазкин*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

В настоящее время на российском рынке представлен большой ассортимент гидроизоляционных проникающих капиллярных смесей зарубежных и отечественных производителей. Содержащиеся в них химически активные компоненты растворяются в воде и способны мигрировать вглубь бетона по развитой капиллярной сети и вступать в химическое взаимодействие с компонентами цементного камня, образуя нерастворимые в воде кристаллогидраты, которые становятся частью бетонной структуры и уплотняют ее [1-3].

Таким новообразованием в цементном камне может быть, например гидросульфоалюминат кальция (эттрингит), который, наряду с уплотнением структуры может привести к деструкции цементного камня, так как объем образующегося эттрингита превышает объем исходных растворенных компонентов и оказывает давление на внутренние стенки пор бетона. Эти процессы схожи с процессами, происходящими при коррозии третьего вида [4].

Цель исследования – изучить влияние гидроизоляционной проникающей капиллярной смеси «Пенетрон» на структуру и свойства цементного камня как составляющей бетона.

Для исследования закономерностей изменения структуры и свойств цементного камня, обработанного смесью «Пенетрон», проводили определение у него открытой пористости методом водопоглощения, рентгенофазовый анализ (РФА), определяли потери массы при прокаливании ( $\Delta m_{\text{прк}}$ ), а также проводили химический анализ цементного камня на предмет содержания в нем высокоосновной формы гидросульфоалюмината кальция (ГСАК) в различные сроки твердения [5].